

Jana BOHÁČOVÁ¹, Martin VAVRO², Stanislav STANĚK³

**VÝVOJ A VÝZKUM VLASTNOSTÍ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH ALKALICKY
AKTIVOVANÝCH SYSTÉMŮ**

**PROPERTIES OF THERMAL INSULATING ALKALI ACTIVATED SYSTEM
RESEARCH AND DEVELOPMENT**

Abstrakt

Příspěvek se zabývá laboratorním výzkumem a vývojem alkalicky aktivovaných systémů s tepelně izolačními vlastnostmi, ve kterých je jako plnivo použit materiál s nízkou objemovou hmotností. Experiment je zaměřen na pevnosti a tepelnou vodivost vytvořených hmot.

V rámci výzkumu bylo připraveno pět druhů záměsí. Hodnoty pevnosti v tlaku a součinitele tepelné vodivosti u zkoumaných receptur kvalitativně korespondují s komerčně dostupnými stavebninami. Výsledky jsou základem pro další výzkum a vývoj lehčených alkalicky aktivovaných systémů se zaměřením na praktické využití ve výstavbě.

Klíčová slova

Lehčené alkalicky aktivované systémy, tepelně izolační materiály, vysokopecní granulovaná struska, aktivované vodní sklo, expandovaný perlit, ekostyren, Liapor, expandovaný vermikulit

Abstract

The paper deals with laboratory research and development of alkali activated system with thermal insulating properties, where, such as additive, low density materials are used. The experiment is focused on strength and heat conductivity of prepared substances.

In research five kinds of mixtures were prepared. The values of compressive strength and thermal conductivity of tested admixtures qualitatively correspond to commercially available building material. Results are foundations for next lightweight alkali activated system development and research focused on practical application in building.

Keywords

Lightweight alkali activated system, thermal insulating materials, blast furnace slag, activated water glass, expanded perlite, ekostyren, Liapor, expanded vermikulit

¹ Ing. Jana Boháčová, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 968, e-mail: jana.bohacova@vsb.cz.

² Ing. Martin Vavro, Ph.D., Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 382, e-mail: martin.vavro@vsb.cz.

³ Ing. Stanislav Staněk, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 968, e-mail: stanislav.stanek.st@vsb.cz.

1 ÚVOD

Současný vývoj cen energií a rovněž zvyšující se ekologické nároky na provedení staveb, nutí každého z nás vybírat při výstavbě budovy, případně při adaptaci stávajícího objektu takové materiály a konstrukční systémy, aby tepelné ztráty při jeho užívání byly co nejmenší.

Na dnešním trhu stavebnin se vyskytuje široká škála tepelně izolačních materiálů, u nichž se, v závislosti na vlastnostech, liší jejich umístění v konstrukci. Zateplení budovy provádíme pěti způsoby, a to kontaktním zateplovacím systémem, systémem sendvičového zdiva, odvětrávaným zateplovacím systémem, pomocí tepelně izolační omítky, nebo použitím tepelně izolačního zdiva [8].

Nejlépe izolující materiály, u kterých se součinitel tepelné vodivosti pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,09 W.m⁻¹.K⁻¹, se používají zejména v kontaktním tepelně izolačním nebo sendvičovém systému, kde se ukotvují na hlavní nosnou část konstrukce. Mezi nejčastěji používané izolanty v této skupině se řadí pěnový polystyren, minerální vlákna a pěnové sklo [8]. Předností těchto materiálů je snadná opracovatelnost a tvarovatelnost. Nedostatkem bývá nízká odolnost vůči mechanickému poškození, vysoká náročnost na kvalitu provedení a mnohdy také snížená odolnost vůči vnějším vlivům, případně hořlavost [7].

Pro zateplení odvětrávaným zateplovacím systémem, kdy se izolant připevňuje na nosnou část konstrukce do volného prostoru za předsazenou pohledovou stěnu, se nejčastěji používají polyuretany, ovčí vlna, nebo celulózové výrobky. Nevýhodou tohoto řešení jsou vysoké pořizovací náklady [7, 8].

V případě zateplení pomocí izolačních omítek jsou používány tzv. termoomítky, které kromě klasických složek obsahují tepelně izolující částice, nejčastěji expandovaný perlit a polystyren. Uplatňují se především při zateplování členitých fasád historických budov [8]. Nevýhodou jsou horší tepelně izolační vlastnosti, náročnost úpravy podkladu a nutnost dodržovat přesně technologický postup přípravy směsi.

Poslední možnost tepelné ochrany stavby je použití nosného zdiva, které je samo o sobě tepelně izolačním materiálem. K tomuto, v současnosti hojně používanému způsobu výstavby, se používají zejména pórobetonové tvárnice a duté cihelné bloky. Výhodou těchto systémů je rychlost a jednoduchost zdění, nevýhodou jsou nízké pevnosti v tlaku a nízká akumulace tepla, horší zvukové izolační vlastnosti a v případě pórobetonu i vysoká nasákavost [12].

Ve všech výše uvedených systémech bývá do základu nosné konstrukce používán některý z tradičních stavebních materiálů, nejčastěji jsou to pálené cihly, cihelné bloky a tvárnice na bázi cementu. Výroba zmíněných stavebnin značným způsobem zatěžuje životní prostředí, a to především vysokou energetickou náročností výpalu. Vhodnou alternativou těmto materiálům jsou alkalicky aktivované systémy, označované také jako geopolymery. Jedná se o produkty vznikající tzv. geopolymizací, což je řízený proces polykondenzace vhodných částic. Vznikají tak zeolity, alkalické alumosilikáty nebo alumosilikáty alkalických zemin, které jsou vysoce stabilní a odolné vůči vnějším vlivům prostředí a dosahují vynikajících pevnostních parametrů [5].

Předmětem výzkumu byl vývoj tepelně izolačního materiálu na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky, který by konečnými vlastnostmi vyhověl jak pevnostním tak i tepelně izolačním požadavkům pro použití ve výstavbě.

2 POUŽITÉ MATERIÁLY

V experimentu byly jako vstupní suroviny pro alkalickou aktivaci použity granulovaná vysokopecní struska (dále také GVS), vodní sklo a hydroxid sodný. Na základě dříve provedených výzkumů [1, 2] byl z vodního skla a 50% roztoku NaOH připraven tzv. aktivátor, jehož smísením s vysokopecní struskou v optimálním poměru vznikají geopolymerní vazby.

Jako plnivo s tepelně izolační funkcí byly pro experiment vybrány expandovaný perlit, expandovaný vermikulit, Liapor a ekostyren.

2.1 Expandovaný perlit

Expandovaný perlit (experlit) je lehká, zrnitá hmota, vznikající tepelným zpracováním surového perlitu. Perlit, kyselá hornina sopečného původu, je v podstatě amorfní křemičitan hlinitý a od ostatních vulkanických skel se liší množstvím chemicky vázané vody. Při tepelné úpravě za teploty 900 - 1300 °C dochází k expandaci perlitu, vznikají bílé duté kuličky různých velikostí a dochází k pěti až desetinásobnému zvětšení objemu původní horniny. Takto vzniklý experlit má výborné tepelné i zvukové izolační vlastnosti, je nehořlavý, netoxický, chemicky inertní. Je objemově stálý, má výborné sorpční vlastnosti a velmi nízkou objemovou hmotnost, která se pohybuje v rozmezí 70 až 100 kg.m⁻³ [4, 11].

V experimentu byl použit experlit EP 180 se zrnitostí 0-2 mm, o sypné hmotnosti 95 kg.m⁻³ a součiniteli tepelné vodivosti 0,049 W.m⁻¹.K⁻¹.

2.2 Expandovaný vermikulit

Expandovaný vermikulit se vyrábí z hydratovaného laminárního hořečnatu-hlinito-železitého silikátu, vermikulitu. Při působení teplot okolo 1000 °C dochází k expandaci šupinek vlivem přeměny interlaminární vody v páru a následnému osmi až dvacetinásobnému zvětšení původního objemu. Sypná hmotnost vzniklé suroviny se pohybuje v rozmezí 60 až 200 kg.m⁻³. Expandovaný vermikulit je vysoce nasákavý, má nízkou tepelnou vodivost, je žáruvzdorný, odolný vůči mikroorganismům a plísním [4].

V experimentu byl použit expandovaný vermikulit o zrnitosti 1,4 - 6 mm, s objemovou hmotností 80 kg.m⁻³ a součinitelem tepelné vodivosti 0,065 W.m⁻¹.K⁻¹.

2.3 Liapor

Liapor je velmi lehké kamenivo kulovitěho tvaru, které vzniká expandováním přírodního jílu. Proces probíhá v rotačních pecích při teplotě 1100 až 1200 °C. Výsledný produkt má téměř kulovitá zrna, vnitřní stejnoměrnou pórovitou strukturu a uzavřený slinutý povrch. Svou podstatou se Liapor řadí mezi keramické kamenivo, mezi jeho hlavní přednosti patří minimální nasákavost, stálost, zdravotní nezávadnost, vynikající tepelné izolační schopnosti a nízká objemová hmotnost, která se v závislosti na zvolené frakci pohybuje v rozmezí 300 až 500 kg.m⁻³ [9].

V experimentu byly použity tři různé frakce kameniva Liapor viz tab. 1.

Tab. 1: Vlastnosti použitého kameniva Liapor [10]

Název materiálu	Frakce [mm]	Sypná hmotnost [kg.m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Liapor 1-4/500	0/4	500	0,11
Liapor 4-8/450	4/8	450	0,11
Liapor 8-16/275	8/16	275	0,09

2.4 Ekostyren

Jedná se o speciálně upravenou drť polystyrenu. Ekostyren je pouze minimálně nasákavý, dobře odolává působení kyselin i zásad, je objemově stálý a má nízkou objemovou hmotnost, která se pohybuje kolem 30 kg.m⁻³ [6].

V experimentu byl použit ekostyren s objemovou hmotností 30 kg.m⁻³ a součinitelem tepelné vodivosti 0,035 W.m⁻¹.K⁻¹.

3 PŘÍPRAVA HMOT

Alkalicky aktivované systémy v současnosti patří mezi hojně zkoumané skupiny materiálů. Ve stavební praxi však dosud nejsou téměř vůbec používány a ani neexistují normy pro jejich zkoušení. Proto byla všechna zkušební tělesa připravena a následně zkoušena podle norem pro zkoušení malt a cementů.

Vzhledem ke značné rozdílnosti použitého plniva (různá nasákavost, granulometrie, objemová hmotnost) bylo již na začátku výzkumných prací jasné, že není možné všechny receptury sjednotit podle některého z parametrů tak, aby mohly být na jeho základě výsledky u jednotlivých záměsů porovnávány mezi sebou. Proto bylo snahou tohoto experimentu najít u každého z použitých materiálů ideální poměr mezi pojivovou složkou a plnivem, pro získání co nejlepšího poměru mezi výslednými pevnostními parametry a tepelně izolačními vlastnostmi, s ohledem na bezproblémovou zpracovatelnost při případném použití v průmyslové výrobě.

Základem pro přípravu všech záměsů byla ověřená receptura na bázi alkalicky aktivované granulované vysokopeční strusky (GVS), v níž byl jako plnivo použit normový písek. Složení této referenční receptury je uvedeno v tab. 2 [2].

Tab. 2: Složení referenční receptury

Materiál	GVS [g]	Aktivátor [ml]	Voda [g]	Normový písek [g]
Množství	450	118,6	90	1350

V první fázi experimentu byly záměsi připraveny podle receptury referenční směsi. Plnivo bylo vzhledem k jeho nízké objemové hmotnosti nutno dávkovat objemově. Na základě měření bylo zjištěno, že 1350 g normového písku z referenční receptury odpovídá objemu 800 ml ve volně sypaném stavu. Následně tedy byly zpracovány receptury obsahující vždy 800 ml tepelně izolačního materiálu jako plniva, GVS a aktivátor dle referenční záměsi, a bylo zjišťováno potřebné množství vody pro vhodnou zpracovatelnost směsí.

V průběhu experimentálních prací pak byla postupně upravována množství jednotlivých složek v závislosti na stanovených požadavcích. Na základě porovnání výsledků pevnostních parametrů, konzistencí a zpracovatelnosti u jednotlivých směsí, které zde, vzhledem k rozsahu výzkumu, záměrně neuvádíme, bylo vybráno pro další zkoušky celkově pět receptur, přičemž z každého ze zvolených materiálů byla vybrána vždy jedna záměs, výjimku představoval Liapor, ze kterého byla připravena směs obsahující jako plnivo pouze frakci 4/8 a další receptura, složená z frakcí 1/4 a 8/16 v poměru objemů 40:60.

Konečná složení jednotlivých receptur jsou uvedena v tab. 3.

Tab. 3: Složení výsledných receptur

Vzorek	GVS [g]	Aktivátor [ml]	Voda [g]	Množství plniva [ml]
Liapor 4/8	450	118,6	80	1300
Liapor 1/4+8/16	300	79,0	50	400 + 600
Vermikulit	585	154,0	300	1300
Experlit	585	154,0	220	1300
Ekostyren	450	118,6	90	800

Pro zkoušení mechanických vlastností připravených hmot byla vyrobena zkušební tělesa o rozměrech (160 x 40 x 40) mm. Tělesa byla uložena do vlhkostní skříně a po 7 a 28 dnech zrání byla ve vlhkém stavu podrobena zkoušce pevnosti v tlaku dle ČSN EN 196-1 [3]. Pevnosti v tahu

za ohybu nebyly zjišťovány. U všech receptur byla stanovena objemová hmotnost jak ve vlhkém, tak ve vysušeném stavu. Bylo provedeno stanovení součinitele tepelné vodivosti.

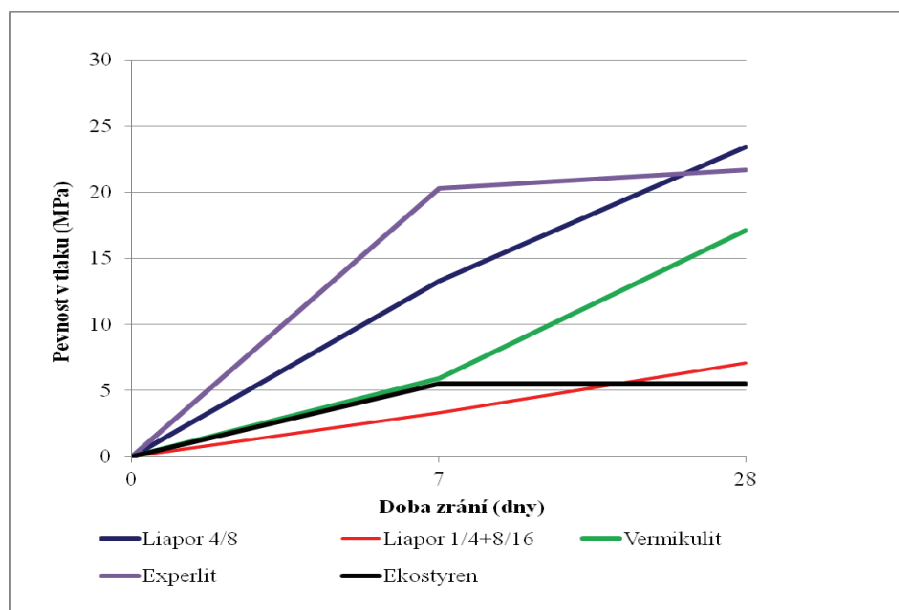
4 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

Zkoušky pevností v tlaku po 7 a 28 dnech zrání byly prováděny vždy na šesti zkušebních tělesech, z naměřených hodnot byl vypočten aritmetický průměr. Rovněž byla stanovena objemová hmotnost vlhkých a vysušených vzorků. Výsledky jsou uvedeny v tab. 4. Grafické znázornění nárůstu pevností je na obr. 1.

Tab. 4: Výsledné pevnosti v tlaku po 7 a 28 dnech zrání a průměrné objemové hmotnosti

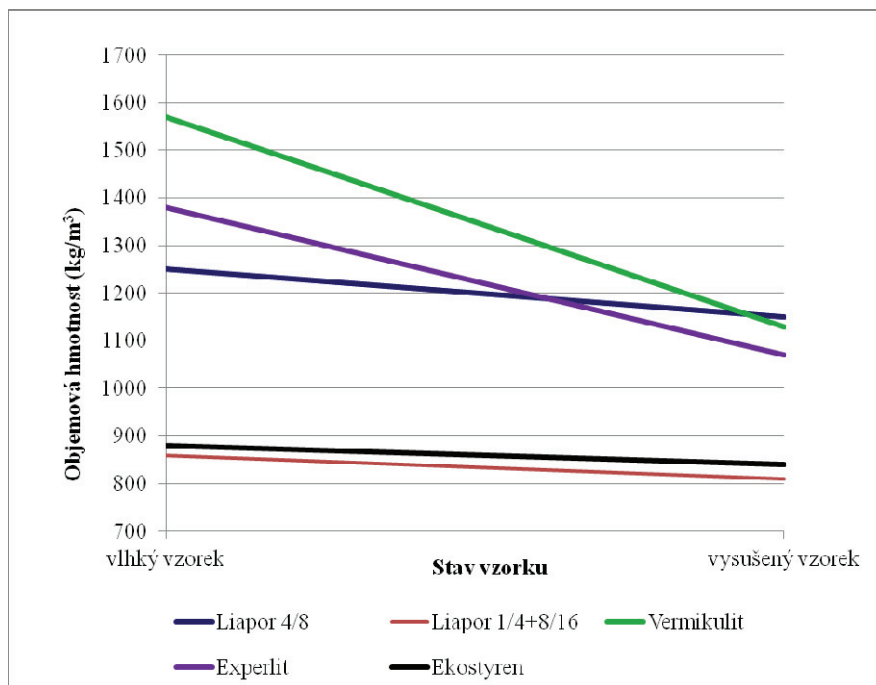
Vzorek	Pevnost v tlaku po 7 dnech [MPa]	Pevnost v tlaku po 28 dnech [MPa]	Objemová hmotnost vlhký vzorek [kg.m ⁻³]	Objemová hmotnost vysušený vzorek [kg.m ⁻³]
Liapor 4/8	13,3	23,4	1250	1150
Liapor 1/4+8/16	3,3	7,1	860	810
Vermikulit	5,9	17,1	1570	1130
Experlit	20,3	21,7	1380	1070
Ekostyren	5,5	5,5	880	840

Z výsledků vyplývá, že nejvyšších pevností v tlaku po 28 dnech zrání bylo dosaženo u vzorků s Liaporem 4/8 a experlitem, kde se průměrné hodnoty pohybovaly nad 20 MPa. Oproti ostatním recepturám u vzorku s ekostyrenem již po 7 dnech zrání nedošlo k nárůstu pevnosti. Všechny navržené receptury se průměrnou pevností v tlaku po 28 dnech vyrovnávají komerčně dostupným tepelně izolačním stavebninám typu pórobetonových tvárnic.



Obr. 1: Grafické znázornění nárůstu pevností v tlaku

V důsledku vysušení zkušebních těles došlo k největšímu poklesu hodnoty objemové hmotnosti u vzorků, které obsahovaly vysoce nasákavá plniva, tedy u záměsí s vermikulitem a experlitem. Nejnižší objemová hmotnost byla zjištěna u směsi s Liaporem 1/4 + 8/16 a u ekostyrenu viz obr. 2.



Obr. 2: Pokles objemové hmotnosti vzorků po vysušení

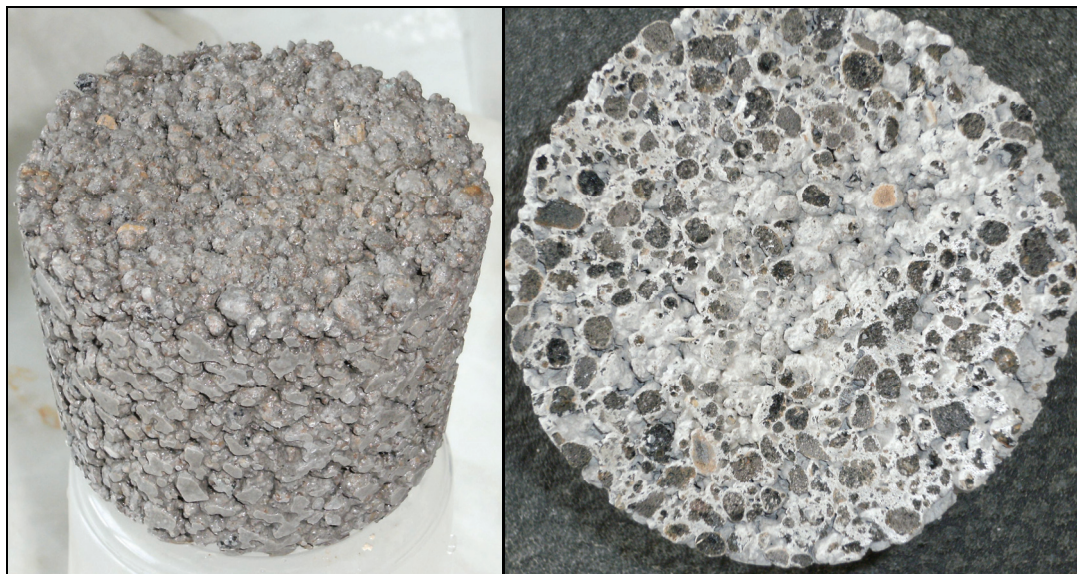
Nejdůležitějším krokem předkládaného výzkumu bylo ověření tepelně izolačních vlastností vytvořených hmot, konkrétně stanovení součinitele tepelné vodivosti (λ). K tomuto účelu byla speciálně připravena zkušební tělesa ve tvaru komolého kužele, která byla po dobu zrání (28 dní) ponechána ve vlhkostní skříni. Následně byly vzorky vysušeny při teplotě 105 °C, jejich povrch byl vyhlazen a poté na nich bylo provedeno stanovení součinitele tepelné vodivosti. Tento parametr byl stanoven na Oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů Ústavu geoniky AV ČR v.v.i. v Ostravě. Měření bylo provedeno přístrojem ISOMET 2104, paní Anežkou Duškovou. U každého ze vzorků bylo provedeno pět jednotlivých měření, ze získaných hodnot byl vypočten aritmetický průměr. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5: Součinitel tepelné vodivosti zkušebních těles

Vzorek	Liapor 4/8	Liapor 1/4 + 8/16	Vermikulit	Experlit	Ekostyren
λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	0,237	0,165	0,306	0,219	0,123

Hodnoty λ se u všech záměsí pohybovaly v rozmezí 0,1 až 0,3 W.m⁻¹.K⁻¹, což řadí připravené hmoty mezi materiály s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, směs s ekostyrenem se dokonce blíží skupině vysoce tepelně izolačních materiálů (λ v rozmezí 0,03 až 0,1 W.m⁻¹.K⁻¹).

Na obr. 3 až 12 jsou vyobrazena tělesa pro stanovení součinitele tepelné vodivosti. Vlevo je vždy vzorek po dozrání, napravo vysušené těleso po úpravě povrchu.



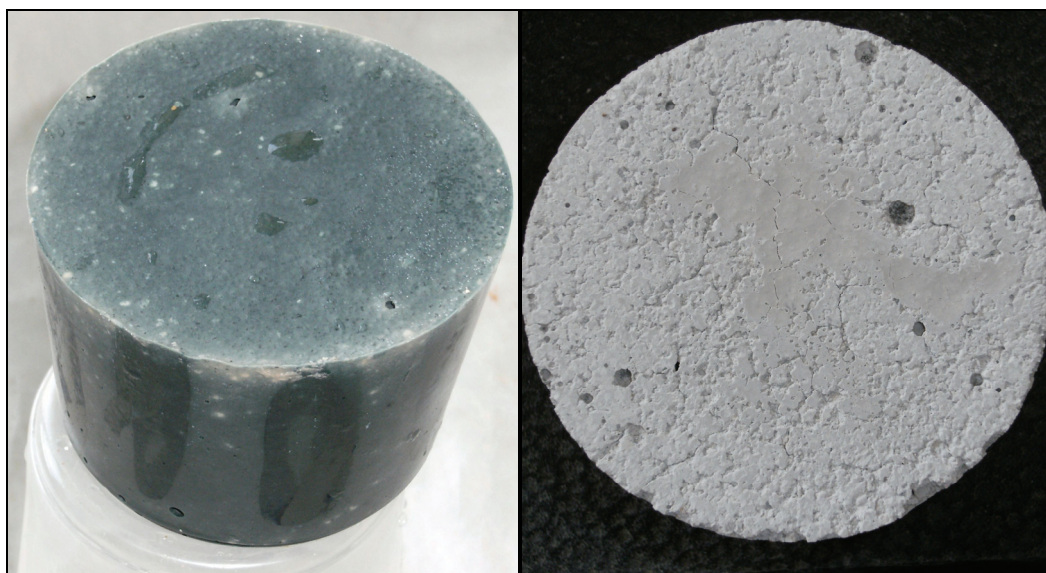
Obr. 3 a 4: Vzhled těles s plnivem Liapor 4/8



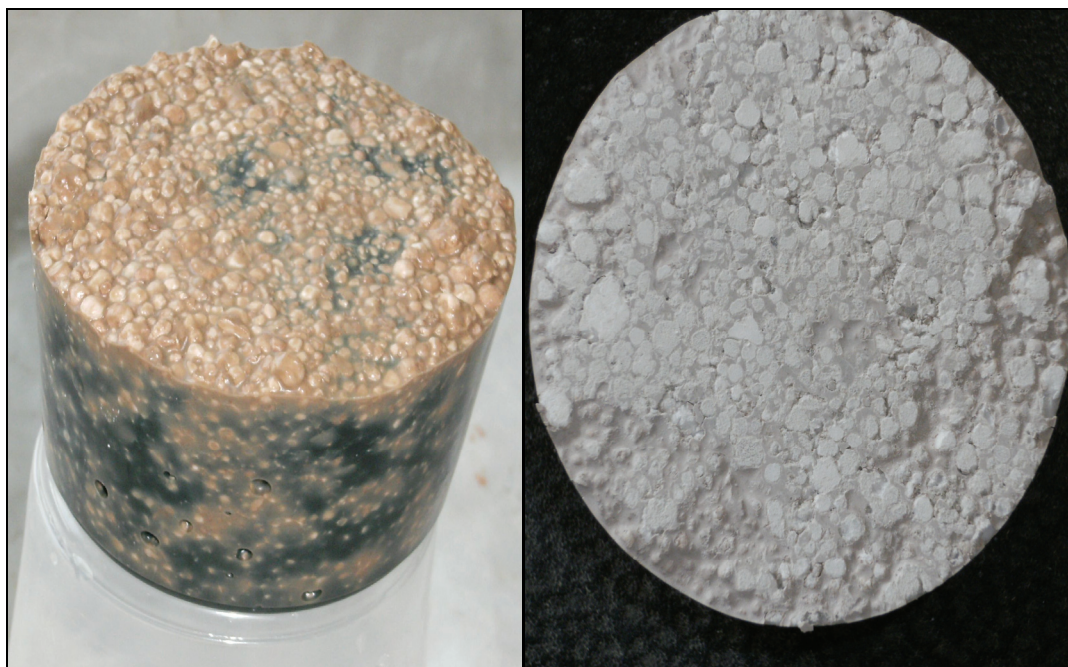
Obr. 5 a 6: Vzhled těles s plnivem Liapor 1/4 + 8/16



Obr. 7 a 8: Vzhled těles s plnivem vermikulit



Obr. 9 a 10: Vzhled těles s plnivem experlit



Obr. 11 a 12: Vzhled těles s plnivem ekostyren

5 ZÁVĚR

Výsledky provedených laboratorních zkoušek prokázaly, že se i alternativní pojivové systémy mohou velmi dobře uplatnit při výrobě tepelně izolačních stavebních materiálů.

Alkalicky aktivované vysokopeční strusky dosahují nadprůměrných pevnostních parametrů, jsou odolné vůči působení agresivních látek, jsou mrazuvzdorné, žáruvzdorné a jejich vynikající zhutnitelnost, krátké doby tuhnutí a tvrdnutí je předurčují pro použití v prefabrikované výrobě stavebnin [1, 2].

Použitím lehkého kameniva do těchto systémů vznikají hmoty s nízkým součinitelem tepelné vodivosti. V souvislosti se snižováním objemové hmotnosti dochází ke zhoršování pevnostních vlastností, díky použití alkalicky aktivované strusky jsou však pevnosti v porovnání s komerčními výrobky dostačující. V současnosti jsou vybrané receptury podrobovány trvanlivostním zkouškám, je zjišťována jejich mrazuvzdornost a odolnost vůči působení solí a rozmrazovacích látek.

V závěru je nutné konstatovat, že možnosti vylehčení materiálu ještě nebyly vyčerpány a dalším výzkumem je možné snížením objemové hmotnosti vlivem zvýšení podílu plniva, dosáhnout ještě lepších tepelně izolačních vlastností.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění MŠMT, podporou specifického vysokoškolského výzkumu - Studentské grantové soutěže VŠB - TU Ostrava pod identifikačním číslem SP2011/168.

LITERATURA

- [1] BOHÁČOVÁ, J.: *Příprava a ověření vlastností geopolymérů na bázi metakaolínu a dalšího pojiva*. Diplomová práce. VŠB - TUO. Fakulta stavební, 2009, Ostrava. 95 s.
- [2] BOHÁČOVÁ, J.: *Studium vlivu různých typů plniv na vlastnosti geopolymerních systémů na bázi alkalicky aktivovaných strusek*. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební, 2008, Ostrava. 65 s
- [3] ČSN EN 196-1 *Metody zkoušení cementu - Stanovení pevnosti*. Český normalizační institut. 2005
- [4] Svoboda, L. a kolektiv: *Stavební hmoty*. JAGA, Bratislava, 2005, 471s. ISBN 80-8076-007-1
- [5] Tomková, V.: *Vliv fázového složení a mikrostruktury na funkční vlastnosti geopolymerních systémů z technogenních pucolánů*. VŠB - TUO . 2008
- [6] <http://www.ekostyren.cz/materialovy-list-2>
- [7] http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zakladni-prehled-tepelne-izolacnich-materialu_80
- [8] http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zpusoby-zatepleni-obvodoveho-plaste-domu_81
- [9] <http://www.Liapor.cz/cz/keramicke-kamenivo-Liapor#technicke-info>
- [10] <http://www.Liapor.cz/dokumenty/technicke-listy/kamenivo/Liapor01.pdf>
- [11] http://www.perlit.cz/expand_perlit.php
- [12] <http://www.xstavba.eu/jaky-porobeton-ytong-hh-porfix-nebo-ift/>

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Vlasta Ondrejka Harbuláková, PhD., Katedra environmentálního inženýrstva, Fakulta stavební, Technická univerzita v Košiciach.

Doc. Ing. Jiří Brožovský, CSc., Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.